

Uji Integritas Bahan Bakar(Titik S, Darmawan Aji, Arifin, Yhon Irzon, Marhaeni Joko, L. Kwin P)

UJI INTEGRITAS BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS (BBNB) NOMOR RI-68, RI-190 DAN RI-187

Titik Sundari, Darmawan Aji, Arifin, Yhon Irzon, Marhaeni Joko P, L. Kwin Pudjiastuti

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gedung No.50
E-mail: titiks@batan.go.id

ABSTRAK

UJI INTEGRITAS BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS NOMOR RI-68, RI-190 DAN RI-187. Saat ini ada 245 bahan bakar nuklir bekas disimpan dengan tipe basah. Korosi galvanik antara kelongsong bahan bakar dan penyimpanan dalam rak *stainless steel* bisa terjadi meskipun karakteristik air kolam yang sangat baik juga akan menghambat terjadinya korosi. Korosi menyebabkan kebocoran pada bahan bakar bekas. Kegiatan uji integritas bahan bakar nuklir bekas dilakukan dengan metode uji cicip bahan bakar nuklir bekas. Uji cicip adalah metode tidak merusak yang digunakan untuk menguji bocornya bahan bakar bekas berdasarkan produk fisi yang terlepas dari kelongsong bahan bakar. Sistem uji cicip yang digunakan telah dipasang pada *intermediate platform* area kolam penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas. Makalah ini membahas uji integritas bahan bakar nuklir bekas nomer identifikasi RI-68, RI-190 dan RI-187. Bahan bakar nuklir bekas yang diuji diambil dari rak kemudian dimasukkan ke dalam tabung uji cicip dan mengalami masa pengujian pada hari-1, ke-2, ke-3, ke-4, dan ke-8 dengan pengambilan sampel masing-masing sebanyak 500 ml air. Air uji masing-masing bahan bakar kemudian dianalisis kadar radionuklidanya menggunakan spektrometer gamma. Dari hasil analisis air uji cicip bahan bakar nuklir bekas nomor RI-68, RI-190, dan RI-187 ketiganya hanya terdeteksi radionuklida I-133 dan Sb-124 yang merupakan radionuklida yang sering terdeteksi pada air kolam. Tidak ditemukan radionuklida hasil belah lain maupun radionuklida yang terkandung dalam bahan bakar nuklir bekas pada ketiga BBNB tersebut sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga BBNB tersebut tidak terjadi kebocoran kelongsong bahan bakar atau dapat dikatakan mempunyai integritas yang baik.

Kata Kunci : bahan bakar nuklir bekas, KH-IPSB3, analisis radionuklida, uji cicip.

ABSTRACT

INTEGRITY TEST OF SPENT NUCLEAR FUEL OF RI-68, RI-190 AND RI-187. Currently there are 245 bundles of spent nuclear fuel stored in the wet type. Galvanic corrosion between the fuel cladding and stainless steel storage rack can occur even though the characteristics of excellent water will also inhibit corrosion. Corrosion caused a leakage in the spent fuel. This integrity test for spent nuclear fuel is done by sipping test method for spent nuclear fuel. Sipping test is non-destructive method used to test the leaking of spent fuel based on fission product released from the cladding. This paper is aimed to discuss the integrity of spent nuclear fuel identification number of RI-68, RI-190 and RI-187. Sipping test system used has been installed at *intermediate plat-form* in interim storage area for spent nuclear fuel. Spent nuclear fuel being tested is taken from the rack and then these are put in a sipping tube. After experiencing a period of sipping on the 1st, 2nd, 3rd, 4th, and 8th day then they were do sampling each of 500 ml. Water sample each fuel was then analyzed using a gamma spectrometer to find the radionuclides contaminant. The result of the analysis show that the

spent fuel number RI-68, RI-190, and RI-187 were not detected but only I-133 and SB-124. The two are often detected in the pond water. There were not found another fission product or radio nuclides contained in spent nuclear fuel so it can be concluded that the SNF do not leak or can be concluded that this three of SNF still have a good integrity.

Keywords: spent nuclear fuel, TC-ISFSF, analysis of radionuclides, sipping test.

PENDAHULUAN

Pada operasi Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS), bahan bakar nuklir dibongkar dari reaktor setelah mencapai nilai ekonomisnya, dan menjadi bahan bakar nuklir bekas (BBNB). BBNB mengandung radionuklida (unsur radioaktif) yaitu : sisa uranium (U), trans-uranium (TRU), dan radionuklida dari produk fisi, serta produk teraktivasi lainnya. BBNB menghasilkan panas dan radiasi peluruhan radionuklida, yang disimpan dalam kolam reaktor sementara untuk pendinginan selama minimal 100 hari. BBNB dipindahkan ke Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (IPSB3) melalui Kanal Hubung (KH) yang berisi air yang berfungsi sebagai *shielding* untuk mengurangi paparan radiasi selama pemindahan BBNB. dan kemudian BBNB diletakkan pada rak di posisi lantai kolam IPSB3.

Keselamatan radiasi dalam pengelolaan bahan bakar nuklir bekas sangatlah diperhatikan agar tidak adanya lepasan radionuklida hasil fisi ke air pendingin dan udara lingkungan. Deteksi dini lepasnya radionuklida hasil fisi dari bahan bakar nuklir bekas ke air pendingin dapat dilakukan dengan pemeriksaan radioaktivitas air pendingin. Radionuklida hasil fisi dapat keluar dari bahan bakar nuklir bekas ke dalam air pendingin karena adanya kebocoran pada kelongsong bahan bakar nuklir bekas. Nilai fraksi bakar (*burn-up*) yang tinggi yaitu mencapai lebih dari 50%, penyimpanan di dalam air kolam

selama 5 tahun, dan adanya perbedaan logam antara kelongsong bahan bakar nuklir bekas dan rak penyimpanan yang bisa menyebabkan terjadinya korosi galvanik maka perlu dilakukan uji integritas kelongsong bahan bakar nuklir bekas. Tujuan uji integritas kelongsong bahan bakar nuklir bekas dengan sistem uji cicip adalah untuk mengetahui ada tidaknya kebocoran radionuklida dari kelongsong bahan bakar nuklir bekas. Hal ini sebagai antisipasi bahaya radiasi dari kemungkinan adanya lepasan radionuklida hasil fisi ke air pendingin maupun udara. Uji cicip (*sipping test*) merupakan salah satu teknik uji tak merusak untuk deteksi integritas kelongsong bahan bakar nuklir bekas dengan mendeteksi dan mengidentifikasi keberadaan radionuklida hasil fisi di dalam air rendaman bahan bakar nuklir bekas.

Di IPSB3 telah dipasang sistem uji cicip BBNB di daerah *deep section* menyatu dengan *intermediate platform*. Prinsip pengujian pada sistem uji cicip yang dilakukan di KH-IPSB3 sama dengan disain sistem uji cicip yang dilakukan di Brazil dengan metode sebagai berikut :

1. BBNB dimasukkan ke dalam *sipping tube* di dalam air kolam dengan kedalaman air kolam di atas puncak BBNB minimal 1 m untuk memperkecil dosis radiasi yang diterima pekerja.
2. *sipping tube* diangkat sampai mulut *sipping tube* berada di atas permukaan air kolam sehingga dapat dilakukan pembilasan air kolam dengan air demin

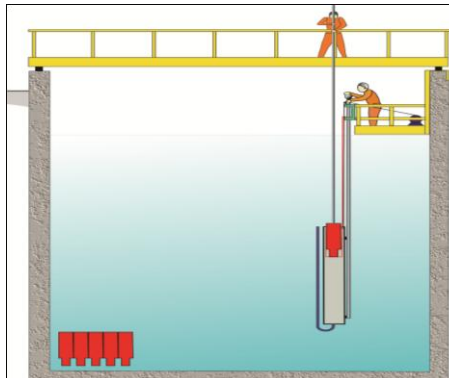
3. pengambilan sampel didahului dengan homogenisasi air uji dengan suplai udara tekan (*compressed air*)
4. pemindahan BBNB dilakukan dengan cara menurunkan *sipping tube* terlebih dahulu sehingga saat BBNB dikeluarkan tetap berada pada kedalaman air minimal 1 m untuk memperkecil dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi.

Sistem uji cicip yang telah dipasang di *intermediate platform* KH-IPSB3 dirancang dan dikomisioning pada tahun 2014 ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2. Sistem uji cicip terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut:

- a. Basket BBNB, dengan bentuk keranjang silinder berdiameter 5 inch, panjang 80 cm, dan dilengkapi dengan kawat *sling* baja berdiameter 3 mm.
- b. *Sipping tube*, dengan bahan SS 304 berbentuk silinder, berdiameter 6 inch, panjang 3 m.
- c. Tangki Penampung air demin, dengan kapasitas penampungan air demin sebanyak 360 liter.
- d. Kompresor, dengan daya 0,25 HP.
- e. Pompa, dengan daya 100 watt.
- f. Sistem perpipaan yang terdiri dari selang plastik berukuran $\frac{3}{4}$ inch dan pipa PVC berukuran $\frac{1}{2}$ inch.



Gambar 1. Tabung uji cicip/sipping tube



Gambar 2. Sistem uji cicip di KH-IPSB3

Dalam makalah ini akan disajikan hasil uji integritas bahan bakar nuklir bekas pada 3 bundel BBNB yang disimpan di IPSB3 dengan sistem uji cicip. Pemilihan BBNB nomor RI-68, RI-190 dan RI-187 karena ketiganya merupakan elemen bakar (*fuel element*) yang memiliki umur berbeda yaitu masing-masing 21, 18 dan 16 tahun dari *loading date* di reaktor. Uji cicip BBNB ini dilakukan melalui analisis radionuklida yang terkandung dalam sampel yaitu sampel air uji cicip dalam beberapa variasi waktu uji, sampel air kolam IPSB3, dan sampel air demin yang

digunakan dalam uji cicip. Hasil uji cicip bahan bakar nuklir bekas ini dapat dimanfaatkan untuk mengetahui integritas kelongsong BBNB sehingga menentukan penanganan yang akan dilakukan pada bahan bakar nuklir bekas yang diuji.

TEORI

IPSB3 memiliki konstruksi kolam yang berisi air bebas mineral berfungsi untuk pendinginan, proteksi radiasi, dan penahanan radionuklida dari BBNB untuk menghindari lepasan radionuklida ke

lingkungan. Kualitas air kolam dijaga dengan mengoperasikan sistem purifikasi /pemurnian air dengan resin penukar ion. Sistem pendingin air dari IPSB3 dirancang untuk membuang panas sehingga suhu air kolam selalu kurang dari 35°C. Sistem *Ventilation and Air Conditioning* (VAC off gas) dioperasikan untuk menjaga suhu konstan udara 20-25°C dan kelembaban relatif 40-60%, ruang tekanan negatif dari 100 ± 25 Pa, dengan pembaharuan udara 5 kali per jam^[1].

Elemen bakar yang digunakan di RSG-GAS adalah elemen bakar tipe *Material Testing Reactor* (MTR) dengan pengkayaan U-235 sebesar 19,75%. Ada dua jenis elemen bakar yang selama ini digunakan di RSG-GAS yaitu bahan bakar silisida U_3Si_2 - AL. Elemen bakar tersebut mempunyai dimensi yang sama yaitu mempunyai penampang segi empat 76,1 x 80,5 mm dengan *meat* 600 mm dan tinggi total 868 mm. Pada bagian atas elemen bakar terdapat batang pemegang berdiameter 13 mm yang digunakan untuk memindah elemen bakar dari satu tempat ke tempat lain di dalam kolam reaktor dan kolam penyimpan bahan bakar. Kelongsong bahan bakar terbuat dari $AlMg_2$ dengan ketebalan 0,38 mm. Elemen bakar jika diiradiasi akan menghasilkan sejumlah radionuklida hasil fisi. Nuklida hasil fisi yang terbentuk disamping dapat tetap terjebak di dalam matrik elemen bakar juga dapat lepas keluar dari matrik elemen bakar. Di antara nuklida hasil fisi yang paling mudah lepas adalah golongan gas mulia^[2].

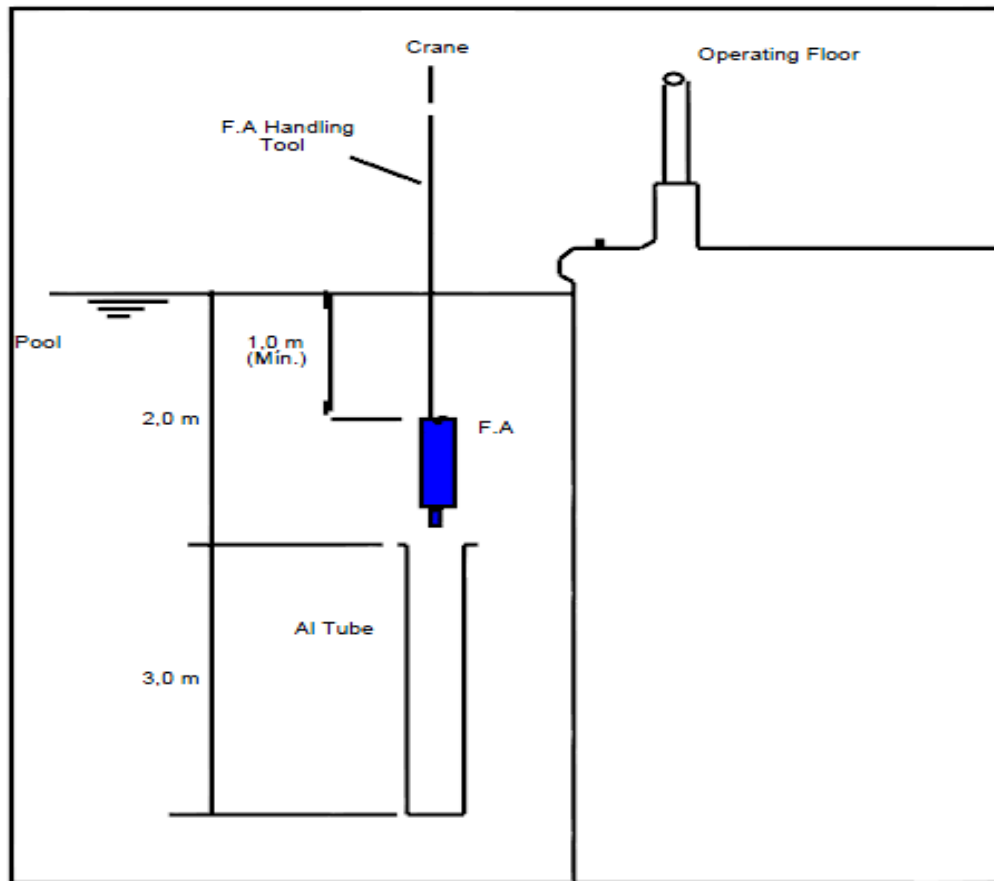
Saat ini ada 245 bundel BBNB tersimpan di IPSB3 dengan kondisi air

kolam dengan nilai konduktivitas maksimal adalah 1,57 $\mu S/cm$, pH air pendingin berkisar antara 5,58 – 7,14. Suhu air pendingin rata-rata 26,76 °C, tinggi permukaan air pendingin berkisar antara 6,31 – 6,43 m^[3]. Kondisi batas untuk operasi normal kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas berdasarkan pada Sistem Operasi dan Proses dalam dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK) KH-IPSB3 adalah sebagai berikut^[4]:

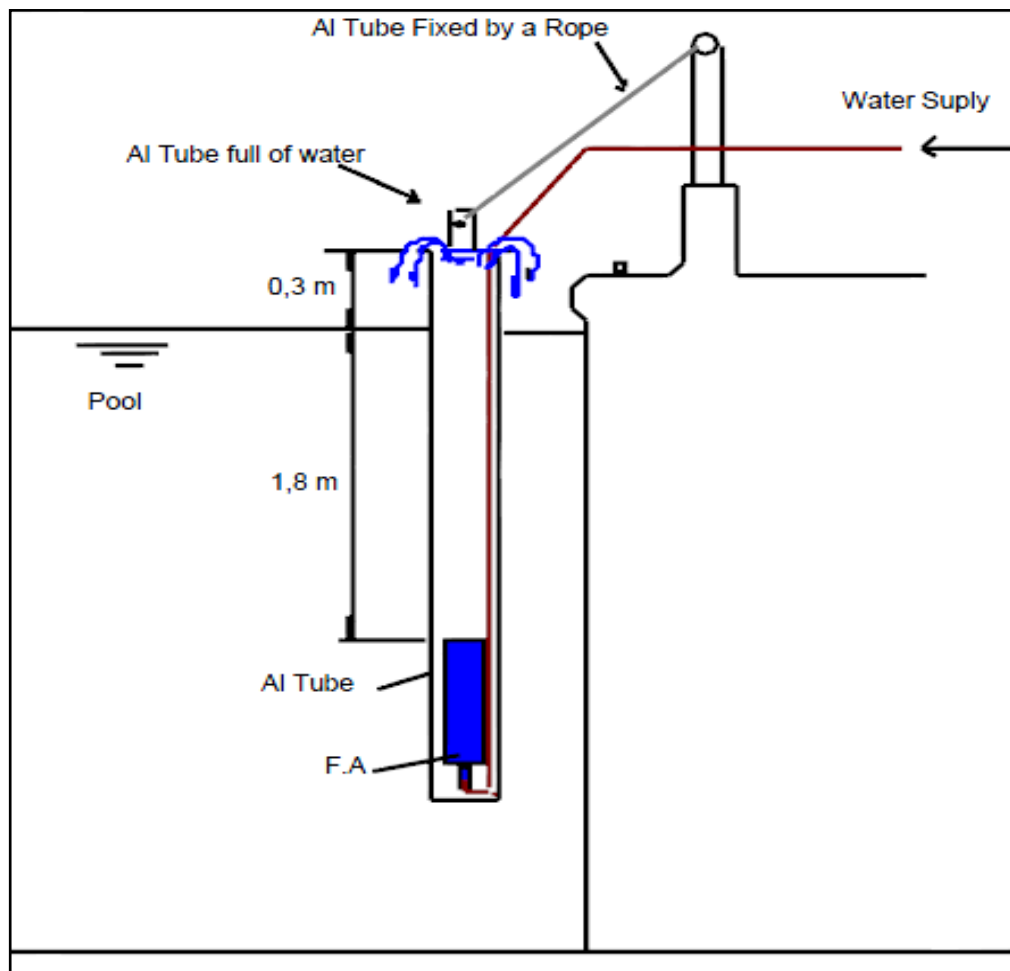
- Kapasitas Maksimal BBNB yang dapat didinginkan (kapasitas penuh) yaitu 1458 bundel;
- Tinggi permukaan air kolam pada kapasitas penuh minimal 3,6 dari permukaan BBNB;
- Temperatur kolam penyimpanan maksimal sebesar 35°C;
- pH berkisar 5,5 – 7,5 ;
- Konduktivitas air lebih kecil daripada 15 $\mu S/cm$;
- Kontaminasi udara lebih kecil daripada $5,3.10^2$ Bq/m³.

Kontaminasi radionuklida terdiri dari tiga jenis kontaminan adalah: radionuklida dari produk fisi, radionuklida dari aktivasi produk korosi, dan radionuklida dari aktinida (uranium dan trans-uranium). Kontaminasi uranium dan trans-uranium (TRU) ke dalam air dapat terjadi ketika kelongsong bahan bakar rusak (pecah atau retak) sehingga terjadi kebocoran dan melepaskan radionuklida ke dalam sistem pendingin air^[5].

Rangkaian sistem peralatan uji cicip BBNB yang dilakukan di Brazil^[6] ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Loading BBNB ke dalam *sipping tube*



Gambar 4. Pengujian dengan mulut *sipping tube* di atas permukaan air

METODOLOGI

Peralatan dan bahan

Alat dan bahan yang diperlukan dalam uji cicip bahan bakar nuklir bekas yaitu:

1. perangkat uji cicip : *sipping tube*, perpipaan, sling, dll
2. perangkat sampling : pompa, ember, botol sampel 500 ml, dll
3. perangkat suplai air bebas mineral (*demineralized water*) : pompa,

tangki tandon air 300 liter/bundel, perpipaan, air bebas mineral, dll

4. perangkat suplai udara tekan (*compresses air*) : kompresor, perpipaan, dll
5. perangkat spektrometer gamma
6. *tools set* mekanik
7. *crane*
8. jembatan geser
9. *handling tool*
10. layout BBNB di rak.

Tata Kerja

A. Pengambilan sampel *back- ground*

Sampel *background* yang diperlukan terdiri dari sampel *background general gamma ray* yaitu air kolam, sampel *background natural gamma ray* yaitu air bebas mineral yang akan diumpungkan ke tabung uji cicip, masing-masing diambil sebanyak 500 mL ke dalam botol plastik dan diidentifikasi. Pengambilan sampel *background* air kolam diambil sebelum dilakukan pemindahan BBNB dari rak ke lokasi sistem uji cicip.

B. Pelaksanaan uji cicip (*sipping test*)

Tabung uji cicip diturunkan menggunakan crane dengan posisi basket di atas. Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB) yang akan diuji cicip dikeluarkan dari rack menggunakan handling tool BBNB di atas jembatan geser. Bahan bakar tersebut diangkat ke atas dan dibawa ke area uji cicip dengan menggunakan jembatan geser. Selama pemindahan dan penanganan BBNB harus dilakukan di dalam air kolam dengan jarak permukaan air kolam ke puncak BBNB minimal 1,5 m.

Kegiatan uji cicip BBNB dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Menentukan nomor BBNB yang akan diuji cicip dengan konsultasi dengan petugas inventori bahan nuklir (*safeguard*) MBA RI-G.
2. Memastikan semua alat dan bahan sudah siap digunakan dan seluruh pelaksana kegiatan menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) yang sesuai
3. Memastikan di setiap tahap kegiatan dari awal hingga selesai selalu dimonitor secara kontinyu oleh Petugas Proteksi Radiasi (PPR)

4. Mengambil sampel air kolam 500 mL sebagai *background general gamma-ray*. Beri label.
5. Memastikan air demin tersedia dan suplai belum dioperasikan. Ambil sampel air demin 500 mL. Beri label.
6. Menurunkan tube ke posisi bawah (basket pada posisi atas) dengan menggunakan crane.
7. Mencatat nomor rak posisi BBNB. Misal : RACK 4 No.D1
8. Mengeluarkan BBNB yang akan diuji-cicip dari rack menggunakan *handling tool* BBNB
9. Memasukkan BBNB kedalam *sipping tube* dengan menggunakan *handling tool* BBNB.
10. Menaikkan tube ke posisi atas dengan menggunakan crane (basket posisi bawah)
11. Mengunci tube padaudukannya
12. Mengoperasikan pompa air demin untuk mencuci BBNB dan ruang *sipping tube* dari air kolam sampai 5 kali volume tube atau sejumlah 275 liter.
13. Menghentikan proses injeksi air demin
14. Melakukan proses injeksi udara tekan melalui pipa fleksibel selama 2 menit untuk homogenisasi air uji dalam *sipping tube*.
15. Menghentikan proses injeksi udara tekan
16. Mengambil sampel air tube sebagai *background* sebanyak 500mL air dalam *sipping tube* kedalam botol plastik.
17. Menganalisis sampel air demin dengan menggunakan MCA.
18. Melakukan *resting time* selama 1 hari
19. Melakukan proses injeksi udara tekan selama 2 menit untuk homogenisasi air uji dalam *sipping tube*, setelah selesai *resting time*

20. Mematikan proses injeksi udara tekan
21. Mengambil sampel larutan uji 500 mL / sesuai kebutuhan analisis. Beri label.
22. Melakukan langkah 18-21 dengan waktu *resting time* selama 2 hari, 3 hari, 4 hari, dan 8 hari.
23. Menurunkan tube ke posisi bawah (basket pada posisi atas) dengan menggunakan crane.
24. Mengeluarkan BBNB dari basket dan kembalikan kedalam rak BBNB semula (lihat posisi BBNB pada langkah 7) menggunakan handling tool dan jembatan geser.
25. Mencatat aktivitas pelaksanaan kegiatan dan lengkapi isian dalam Logsheet Pelaksanaan Uji Cicip, Monitor Uji Cicip Bahan Bakar Nuklir Bekas, dan Laporan Analisis Uji Cicip.

C. Analisis Sampel Background dan Air Uji Cicip

Sampel air kolam, air demin dan air uji masing-masing sebanyak 500 mL dikirim ke laboratorium analisis PTLR untuk dianalisis kandungan radionuklidanya. Analisis kadar radionuklida pada sampel dilakukan menggunakan *spektrometer gamma* tipe ORTEC dengan detektor Hp-Ge dan software MCA (*Multy Channel Analyzer*) untuk mendapatkan hasil analisis secara kualitatif. Sistem dilengkapi dengan program *gamma vision* untuk mendapatkan hasil analisis secara kualitatif dan kuantitatif. Pencacahan radionuklida dilakukan selama 1 jam. Kurva efisiensi yang dipakai yaitu pada energi 200 sampai dengan 1400 keV menggunakan sumber standar Eu-152 cair. Alat *spektrometer gamma* yang digunakan untuk analisis ini mempunyai batas limit deteksi 1×10^{-8} $\mu\text{Ci/mL}$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pelaksanaan uji cicip BBNB, setiap BBNB dilakukan uji cicip selama 8 hari sesuai dengan *Standart Operational Procedure* (SOP) Uji Cicip dengan pertimbangan selama 8 hari sudah cukup untuk mendeteksi jika ada kebocoran BBNB. Sedangkan sampling air uji dilakukan pada hari ke-1, 2, 3, 4, dan 8 untuk menghasilkan beberapa data air uji dengan variasi waktu pengujian (*resting time*) yang dilakukan sesuai hari kerja/jadwal kerja. Tabung uji cicip diturunkan menggunakan crane dengan posisi basket di atas. BBNB yang akan diuji cicip dikeluarkan dari rak menggunakan *handling tool* BBNB di atas jembatan geser. Bahan bakar tersebut diangkat ke atas dan dibawa ke area uji cicip dengan menggunakan jembatan geser. *Loading* dan *unloading* BBNB di dalam tabung uji cicip dilakukan di dalam air kolam dengan kedalaman air kolam dari permukaan air kolam ke puncak BBNB minimal 1,5 m untuk memperkecil dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi yang melakukan uji cicip terutama di ruang *intermediate platform*. Suplai air demin sebanyak 300 liter melebihi standar pembilasan 5 kali volume tabung uji cicip (275 liter) bertujuan untuk mengoptimalkan proses pembilasan BBNB di dalam tabung uji cicip. Suplai udara tekan menggunakan kompresor dilakukan untuk menghomogenkan air uji dalam tabung uji cicip sehingga sampel air yang diambil dapat mewakili air tabung uji cicip.

Kegiatan uji cicip BBNB di KH-IPSB3 yang dilakukan di area *deep section* dengan alat uji cicip yang terpasang di *intermediate platform* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pelaksanaan uji cicip BBNB di KH-IPSB3

Dalam sistem pemantauan air kolam fasilitas KH-IPSB3, dilakukan analisis kadar radionuklida pada air kolam setiap 2 minggu sekali. Hasil analisis radionuklida pada air kolam ditunjukkan pada Tabel 1,

dapat memberi gambaran terhadap jenis radionuklida apa saja yang sering muncul dalam air kolam dibandingkan dengan hasil analisis radionuklida pada air uji cicip.

Tabel 1. Hasil analisis radionuklida pada air kolam

No.	Kode Sampel	Radio-nuklida	Aktivitas ($\mu\text{Ci/ml}$)	Waktu paro	Keterangan
1.	Kolam -130315	J-133	$5,22 \times 10^{-5}$	20 jam	Hasil belah
2.	Kolam -020415	Sb-124	$3,48 \times 10^{-5}$	60 hari	Hasil belah
3.	Kolam -110515	Sb-124	$4,40 \times 10^{-5}$	60 hari	Hasil belah
4.	Kolam -250515	Sb-124	$3,74 \times 10^{-5}$	60 hari	Hasil belah
5.	Kolam -030615	J-133	$1,12 \times 10^{-5}$	20 jam	Hasil belah
6.	Kolam -110615	-	Dibawah limit deteksi*	-	Hasil belah
7.	Kolam -030715	J-133	$1,12 \times 10^{-5}$	20 jam	Hasil belah
8.	Kolam -060815	Sb-124	$4,40 \times 10^{-5}$	60 hari	Hasil belah
9.	Kolam -020915	Sb-124	$7,26 \times 10^{-5}$	60 hari	Hasil belah
		J-133	$4,96 \times 10^{-5}$	20 jam	Hasil belah
10.	Kolam -220915	-	Dibawah limit deteksi*	-	-

11.	Kolam -051015	J-133	$5,47 \times 10^{-4}$	20 jam	Hasil belah
12.	Kolam -221015	-	Dibawah limit deteksi*	-	-
13.	Kolam -091115	-	Dibawah limit deteksi*	-	-
14.	Kolam -261215	-	Dibawah limit deteksi*	-	-
15.	Kolam -230216	I-133	$4,04 \times 10^{-5}$	20 jam	Hasil belah
		Cs-137	$2,00 \times 10^{-7}$	30 tahun	Hasil belah
16.	Kolam - 180416	-	Dibawah limit deteksi*	-	-
17.	Kolam - 090516	I-133	$4,78 \times 10^{-5}$	20 jam	Hasil belah
18.	Kolam - 240516	-	Dibawah limit deteksi*	-	-
19.	Kolam - 160616	I-133	$5,52 \times 10^{-5}$	20 jam	Hasil belah

Analisis kadar radionuklida pada sampel air kolam maupun air uji cicip dilakukan menggunakan spektrometer gamma dengan detektor Hp-Ge dan software MCA (*Multy Channel Analyzer*). Pencacahan dilakukan selama 1 jam. Kalibrasi energi pada MCA dilakukan untuk mengubah cacahan sebagai fungsi *channel* menjadi cacahan sebagai fungsi energi. Dengan kalibrasi energi dapat diidentifikasi jenis nuklida berdasarkan energi gamma karakteristik yang dimiliki masing-masing radionuklida. Untuk melakukan kalibrasi energi digunakan sumber standar tunggal, antara lain Ba-137, Co-60, Cs-137. Kemudian dilakukan kalibrasi efisiensi untuk mengetahui efisiensi cacahan detektor dari energi gamma yang dipancarkan masing-masing radionuklida. Nilai efisiensi cacahan detektor yang diperoleh untuk masing-

masing energi gamma selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi nuklida di dalam cuplikan. Untuk dapat melakukan kalibrasi efisiensi dibutuhkan sumber standar dengan kondisi pencacahan yang sama, yaitu wujud, geometri, energi gamma yang dipancarkan, dan waktu pencacahan yang sama dengan pencacahan cuplikan. Kalibrasi efisiensi yang dilakukan menggunakan material standar cair Eu-152 cair yang merupakan nuklida pemancar gamma multi energi. Material standar digunakan untuk membuat grafik efisiensi sebagai fungsi energi. Nilai efisiensi ini dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi masing-masing nuklida yang teridentifikasi. Hasil analisis radionuklida yang terkandung dalam sampel air uji cicip menggunakan Spektrometer Gamma ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis uji cicip bahan bakar nuklir bekas

Sampel	Nomor BBNB					
	RI-68		RI-190		RI-187	
	Radio-nuklida	Konsentrasi (μCi/ml)	Radio-nuklida	Konsentrasi (μCi/ml)	Radio-nuklida	Konsentrasi (μCi/ml)
Air demin	ttd	-	ttd	-	ttd	-
Air kolam	ttd	-	ttd	-	I-133	$5,57 \times 10^{-4}$
					Sb-124	$3,54 \times 10^{-5}$
Hari ke-1	ttd	-	Sb-124	$4,26 \times 10^{-5}$	I-133	$5,23 \times 10^{-4}$
Hari ke-2	I-133	$2,78 \times 10^{-5}$	I-133	$5,44 \times 10^{-4}$	I-133	$5,47 \times 10^{-4}$
	Sb-124	$4,66 \times 10^{-5}$	Sb-124	$3,96 \times 10^{-5}$	Sb-124	$4,06 \times 10^{-5}$
Hari ke-3	Sb-124	$3,90 \times 10^{-5}$	ttd	-	I-133	$5,92 \times 10^{-4}$
					Sb-124	$4,08 \times 10^{-5}$
Hari ke-4	I-133	$6,07 \times 10^{-5}$	I-133	$5,29 \times 10^{-4}$	I-133	$3,34 \times 10^{-5}$
	Sb-124	$4,60 \times 10^{-5}$	Sb-124	$3,58 \times 10^{-5}$		
Hari ke-8	I-133	$4,74 \times 10^{-4}$	I-133	$5,83 \times 10^{-4}$	Sb-124	$4,70 \times 10^{-5}$
			Sb-124	$4,76 \times 10^{-5}$		
Ttd : Tidak terdeteksi / di bawah limit deteksi alat						

Dalam Tabel 1 menunjukkan adanya kontaminasi radionuklida di air kolam yang ditimbulkan dari pelepasan radionuklida hasil belah, yaitu: Cs-137, Sb-124, dan J-133. Dalam air kanal dan kolam tidak terdeteksi adanya radionuklida seperti I-131, Kr-85, dan Xe-133, radionuklida ini adalah produk fisi utama di fase gas sehingga mereka dapat dirilis ke udara ambien. Sedangkan kontaminasi radionuklida yang dihasilkan dari produk korosi yang diaktifkan elemen seperti Fe-59, Co-60, Mn-54 juga tidak terdeteksi.

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pada air kolam yang diambil sampelnya pada saat pelaksanaan uji cicip terdeteksi adanya radionuklida I-133 dan Sb-124 pada 1 dari 3 sampel. Pada BBNB Nomor RI-68 mulai terdeteksi adanya radionuklida pada hari ke-2 sampai dengan hari ke-8 dengan jenis radionuklida I-133 dan Sb-124. Pada BBNB No. RI-190 terdeteksi radionuklida pada hari ke-1, ke-2, tidak terdeteksi pada hari ke-3, kemudian terdeteksi kembali pada hari ke-

4 dan ke-7 dengan jenis radionuklida I-133 dan Sb-124. Pada BBNB No. RI-187 terdeteksi adanya radionuklida pada hari ke-1 sampai dengan hari ke-8 dengan jenis radionuklida I-133 dan Sb-124. Dari ketiga BBNB yang diuji ini hanya terdeteksi adanya radionuklida I-133 dan Sb-124 yang sering terdeteksi juga pada air kolam. Radionuklida I-133 dan Sb-124 merupakan radionuklida hasil belah berumur pendek yaitu masing-masing memiliki waktu paro 20 jam dan 60 hari. Dengan sering terdeteksinya kedua radionuklida ini dalam air kolam, hal ini menunjukkan bahwa kedua radionuklida ini merupakan radionuklida kontaminan yang terbawa di BBNB setelah dikeluarkan dari reaktor. Tidak adanya radionuklida lain selain I-133 dan Sb-124 dari air uji cicip ketiga BBNB ini menunjukkan bahwa tidak ada kebocoran pada BBNB yang diuji yaitu RI-68, RI-190, maupun RI-187.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis air uji cicip bahan bakar nuklir bekas nomor RI-68, RI-190, dan RI-187 ketiganya hanya terdeteksi radionuklida I-133 dan Sb-124 yang merupakan radionuklida yang sering terdeteksi pada air kolam. Tidak ditemukannya radionuklida hasil belah lain maupun radionuklida yang terkandung dalam bahan bakar nuklir bekas pada ketiga BBNB tersebut. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa ketiga BBNB tersebut tidak terjadi kebocoran kelongsong bahan bakar atau dapat dikatakan mempunyai integritas yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan di subbidang PLBN, FKH dan Bidang K2O yang telah membantu pelaksanaan kegiatan ini sehingga kegiatan ini terlaksana dengan baik dan selamat. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Husen Zamroni selaku Kepala Bidang Pengelolaan Limbah dan Bapak Ir. Suryantoro, MT selaku Kepala Pusat Teknologi Limbah Radioaktif yang telah mendukung kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. **ZAINUS SALIMIN**, "Heat Transfer Analysis on the Storage of Spent Fuel of Indonesia Multi-Purpose Reactor-30 MW", *Proceeding of 6th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics Operations and Safety*, Nara, Japan, pp. 155-164. 2004
2. **SUDIYONO**, "Pengoperasian Kanal Hubung-Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-

IPSB3)", Diklat Pelatihan Operator dan Supervisor KH-IPSB3, 2012.

3. Laporan Operasi KH-IPSB3 Semester II Tahun 2015, PTLR-BATAN, Serpong, 2016.
4. Laporan Analisis Keselamatan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (LAK KH-IPSB3), rev 7, PTLR – BATAN. 2009.
5. **GUNANDJAR, DKK.** "The Operation Safety Aspect On Contamination Of Radionuclides In The Interim Storage Of Spent Nuclear Fuel Installation", *Proceedings of the 3rd Applied Science for Technology Application, ASTECHNOVA 2014 International Energy Conference* Yogyakarta, Indonesia, 13-14 August 2014.
6. **PEROTTA J.A., TERREMOTO L.A.A., DAN ZEITUNI C.A.**, "Experience on Wet Storage Spent Fuel Shipping at IEA-RI Brazilian Research Reactor", *IAEA Interregional Training Course on Technical and Administrative Preparations Required for Shipment of Research Reactor Spent Fuel to Its Country of Origin*, 13 - 24 January 1997.